



# Analisis Faktor Daya Output Yang Dihasilkan Panel Surya Jenis *Monocrystalline* 60 Watt-peak

Inka Ananda Treesna<sup>1\*</sup>, P. Jannus<sup>1</sup>, Benhur Nainggolan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI Depok 16425

Email: [p.jannus@mesin.pnj.ac.id](mailto:p.jannus@mesin.pnj.ac.id)<sup>1)</sup>, [benhur.nainggolan@mesin.pnj.ac.id](mailto:benhur.nainggolan@mesin.pnj.ac.id)<sup>12)</sup>,  
[inka.anandatreesna.tm18@mhs.pnj.ac.id](mailto:inka.anandatreesna.tm18@mhs.pnj.ac.id)<sup>2)</sup>

## Abstrak

*Sel Surya atau sel fotovoltaic adalah komponen yang terbuat dari elemen aktif (semikonduktor) yang dapat mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi energi listrik dengan memanfaatkan efek fotovoltaik dan menghasilkan output arus searah (DC). Sel surya terbagi menjadi 3 jenis yaitu Monocrystalline, Polycrystalline dan Thin Film. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor daya output yang dihasilkan panel surya jenis monocrystalline 60 Wp dengan menggunakan solar charger controller MPPT (Maximum Power Point Tracking). Metodologi penelitian yang digunakan adalah pengambilan data mode charging panel surya pada kondisi statis (diam) mulai pukul 09:00 WIB-15:00 WIB. Hasil penelitian menunjukkan nilai tegangan dan arus tertinggi yang didapat sebesar 17.7V dan 2.9A pada saat pukul 12:30 WIB dengan intensitas cahaya matahari sebesar 1039.42 Watt/m<sup>2</sup>. Sedangkan, nilai tegangan dan arus terendah yang didapat sebesar 17.9V dan 1.5A pada saat jam 15:00 WIB. Pada penelitian menggunakan SCC MPPT dan 1 buah panel surya 60Wp jenis monocrystalline didapatkan rata-rata daya output sebesar 41.34W. Efisiensi rata-rata yang dihasilkan sebesar 15.14%. Sedangkan hasil penelitian sebelumnya (Fadhilla Inaswara,dkk tahun 2016) menggunakan 2 solar panel 20Wp jenis polycrystalline dengan SCC PWM menghasilkan daya output rata-rata yang dihasilkan sebesar 18.15W.*

*Kata-kata kunci: Sel Surya, Monocrystalline, Tenaga Surya, Daya Output, PWM, MPPT*

## Abstract

*Solar cells or photovoltaic cells are components made of active elements (semiconductors) that can convert sunlight directly into electrical energy by utilizing the photovoltaic effect and produce direct current (DC) output. Solar cells are divided into 3 types, namely Monocrystalline, Polycrystalline and Thin Film. This study aims to determine the output power factor of a 60 Wp monocrystalline solar panel using a MPPT (Maximum Power Point Tracking) solar charger controller. The research methodology used is data collection of solar panel charging mode in static (silent) conditions starting at 09:00 WIB - 15:00 WIB. The results showed that the highest voltage and current values obtained were 17.7V and 2.9A at 12:30 WIB with sunlight intensity of 1039.42 Watt/m<sup>2</sup>. Meanwhile, the lowest voltage and current values obtained were 17.9V and 1.5A at 15:00 WIB. In the study using SCC MPPT and 1 monocrystalline 60Wp solar panel, the average output power was 41.34W. The resulting average efficiency is 15.14%. While the results of previous studies (Fadhilla Inaswara, et al in 2016) used 2 polycrystalline 20Wp solar panels with SCC PWM resulting in an average output power of 18.15W.*

*Keywords: Solar Cell, Monocrystalline, Solar, Power, PWM, MPPT*

\*Corresponding author E-mail address: [inka.anandatreesna.tm18@mhs.pnj.ac.id](mailto:inka.anandatreesna.tm18@mhs.pnj.ac.id)

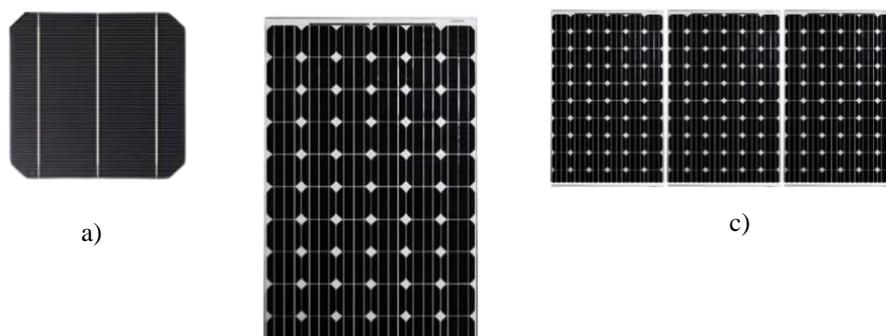
## 1. PENDAHULUAN

Bahan Bakar Minyak (BBM) masih menjadi favorit di dunia energi. Hal ini menjadikan energi masalah terbesar yang sedang dihadapi oleh negara-negara di dunia dikarenakan ketersediaan energi yang mulai menipis. Bahan bakar minyak yang dimiliki Indonesia juga semakin menipis bahkan harus mengimpor dari negara lain. Hal ini menjadi masalah yang serius dalam menyediakan energi yang cukup ke populasi manusia. Salah satu sumber energi yang dapat menjadi solusi berdasarkan kondisi di atas ialah pemanfaatan energi terbarukan contohnya adalah pemanfaatan energi matahari dengan menggunakan panel surya yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik<sup>[1]</sup>. Panel surya sudah banyak digunakan dalam berbagai hal sebagai sumber energi. Salah satunya adalah sepeda listrik tenaga surya sebagai gerakan zero emission yang di serukan oleh Pemerintah. Maka dari itu, penelitian tugas akhir ini akan mengambil tema sepeda listrik yang memanfaatkan energi matahari.

Penelitian sepeda listrik sebelumnya sudah dilakukan oleh Fadhillah Inaswara, dkk pada tahun 2016 yaitu “Rancang Bangun Sepeda Listrik Tenaga Surya” dengan spesifikasi panel surya tipe *polycrystalline* 40 Watt-peak, *Solar Charger Controller* tipe PWM (Pulse Widht Modulation), energi baterai 468 Wh serta waktu yang digunakan untuk mengisi baterai penuh adalah 18 jam 38 menit dan rata-rata daya output pada 1 hari pengisian ke batterai dihasilkan sebesar 18.15W<sup>[2]</sup>. Berdasarkan data di atas, penulis melakukan inovasi yaitu mengoptimalkan proses perubahan energi surya menjadi listrik di panel surya *monocrystalline* dengan mengubah *Solar Charger Controller* tipe PWM (Pulse Widht Modulation) menjadi tipe MPPT (Maximum Power Point Tracking). *Solar Charger Controller* MPPT (Maximum Power Point Tracking) berfungsi sebagai pengatur arus listrik (Current Regulator) baik terhadap arus yang masuk dari panel P-V dan arus beban keluar / digunakan untuk menggerakkan motor BLDC (Brushless Direct Current) pada sepeda listrik. Karena sistem yang digunakan sangat kompleks maka jurnal ini fokus pada panel surya jenis *monocrystalline* 60 Watt-peak<sup>[3]</sup>.

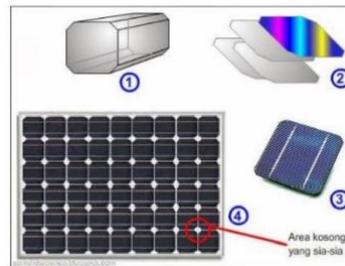
## 2. LANDASAN TEORI

Sel Surya atau sel fotovoltaic adalah sebuah komponen yang terbuat dari elemen aktif (semikonduktor) yang dapat mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi energi listrik dengan memanfaatkan efek fotovoltaik dan menghasilkan output arus searah (DC)<sup>[4]</sup>. Pada keadaan cahaya penuh, umumnya satu sel surya dapat menghasilkan 0.5 VDC – 1 VDC namun untuk digunakan di berbagai aplikasi, tegangan 0.5 VDC – 1 VDC tidak cukup digunakan. Maka dari itu, sejumlah sel disusun seri sehingga membentuk Solar Module. Kemudian, beberapa modul juga di susun seri disebut dengan Solar Array yang ditunjukkan pada gambar 2.1.<sup>[5]</sup>



Gambar 2. 1 Bentuk-bentuk panel surya

Jenis *monocrystalline* memiliki efiseinsi tinggi dibandingkan dengan sel surya lainnya. Efisiensi dari sel surya *monocrystalline* ini pada umumnya sekitar 15%- 20%. *Monocrystalline* memiliki warna hitam pekat yang menjadi ciri khasnya dan sel surya ini berbentuk segi enam menyebabkan terdapat ruangan yang kosong saat dibentuk solar module dapat dilihat pada gambar 2.2<sup>[6]</sup>. Mahalnya harga kristal silicon murni dan teknologi khusus yang digunakan membuat jenis sel surya ini memiliki harga yang mahal dibandingkan dengan sel surya lainnya yang beredar di pasaran.



Gambar 2. 2 Sel surya monocrystalline

Keterangan:

- 1) Batangan kristal silicon murni dengan proses Czochralski.
- 2) Irisan kristal silicon murni yang diiris dengan sangat tipis.
- 3) Sel surya monocrystalline yang telah jadi.
- 4) Susunan sel surya monocrystalline yang disusun seri membentuk Solar Modul.

Solar cell memiliki prinsip kerja yaitu saat sinar matahari terdiri atas sejumlah partikel sangat kecil yang disebut foton, menghantam atom semikonduktor silicon sel surya sehingga menimbulkan energi yang besar untuk memisahkan electron dari struktur atomnya. Putusnya ikatan atom tersebut maka terjadi pengurangan electron pada susunan atom. Pengurangan ini menyebabkan adanya “hole” (lubang) dengan muatan positif (+). Tempat yang kosong itu akan diisi oleh atom berikutnya dari atom tetangga. Pergerakan/perpindahan atom ini menimbulkan adanya konduksi listrik<sup>[4]</sup>. Electron bermuatan negative yang terpisah akan bebas bergerak pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor.

Daerah semikonduktor dengan electron bebas dan bersifat negative serta bertindak sebagai pendonor electron disebut dengan Semikonduktor tipe N (N-type). Sedangkan daerah semikonduktor dengan “hole” dan bersifat positif serta bertindak sebagai penerima (acceptor) disebut Semikonduktor tipe P (P-type). Untuk mendapatkan daya yang diterima (daya input) maka dapat digunakan rumus persamaan (1) seperti berikut:

$$P_{in} = I_r \times A \quad (1)$$

dengan:

- $P_{in}$  = Daya input akibat irradiance matahari (Watt)  
 $I_r$  = Irradiance matahari (Watt/m<sup>2</sup>)  
 $A$  = Luas area permukaan photovoltaic module (m<sup>2</sup>)

Sedangkan untuk besarnya daya pada solar cell ( $P_{out}$ ) yaitu perkalian tegangan output yang terlihat di SCC ( $V_{out}$ ) dan arus output yang terlihat di SCC ( $I_{out}$ ). Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$P_{Out} = V_{Out} \times I_{Out} \quad (2)$$

dengan:

- $P_{Out}$  = Daya yang dibangkitkan oleh solar cell (Watt)  
 $V_{Out}$  = Tegangan keluaran yang terlihat pada SCC (Volt)  
 $I_{Out}$  = Arus keluaran yang terlihat pada SCC (Ampere)

Efisiensi yang terjadi pada sel surya adalah merupakan perbandingan daya yang dapat dibangkitkan oleh sel surya dengan energi input yang diperoleh dari irradiance matahari. Efisiensi yang digunakan adalah efisiensi sesaat pada pengambilan data<sup>[7]</sup>.

$$\eta = \frac{Output}{Input} \times 100\% \quad (3)$$

dengan:

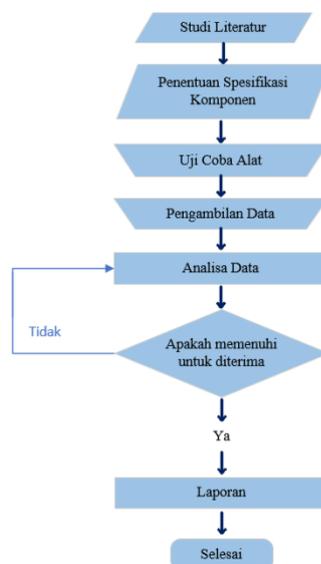
- $\eta$  = Efisiensi solar cell (%)  
 $P_{Out}$  = Daya yang dibangkitkan oleh solar cell (Watt)  
 $P_{in}$  = Daya input akibat irradiance matahari (Watt)

### Perbedaan Solar Charger Controller PWM dan MPPT

*Solar charger controller* berfungsi untuk mengatur pengisian daya di baterai sesuai dengan kebutuhan baterai yang digunakan. *Solar charger controller* memiliki dua tipe, yaitu: Tipe PWM (Pulse Widht Modulation) dan Tipe MPPT (Maximum Power Point Tracking). Cara kerja SCC PWM adalah dengan mencocokkan tegangan dari panel ke tegangan baterai dengan menurunkan tegangan panel. Sedangkan cara kerja SCC MPPT adalah mencari titik daya maksimum panel kemudian mengkonversi tegangan panel sesuai dengan tegangan baterai dan menaikkan arus sehingga pengisian baterai lebih cepat<sup>[8]</sup>.

### Metodologi Penelitian

Pada gambar 2.3 langkah pertama yang dilakukan adalah studi literatur yaitu mencari referensi terkait penyelesaian tugas akhir dari buku – buku, jurnal, e-book dan situs web yang berkaitan dengan *solar cell*. Kemudian, menentukan spesifikasi komponen. Lalu, mengambil data sebanyak tiga kali. Pengambilan data dimulai dari jam 09.00 – 15.00 WIB dengan keadaan panel surya statis (diam). Cara pengambilan data SCC MPPT dan SCC PWM adalah sama yaitu dengan menyambungkan kabel positif (+) dan negative (-) kedalam terminal *solar charger controller*. Jika data sudah terkumpul, langkah berikutnya adalah melakukan analisa data. Jika analisa data tidak memenuhi syarat untuk diterima maka dilakukan pengambilan data kembali untuk mendapatkan data yang tepat. Namun, jika analisa data memenuhi syarat, maka dari itu analisa selesai.



Gambar 2. 3 Alir Diagram Pembuatan Tugas Akhir

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Perhitungan memilih solar panel

Kebutuhan energi yang akan di supply oleh panel sebesar 324 Wh dengan diketahui minimum rata-rata irradiansi matahari sebesar 6 jam. Oleh karena itu untuk menghitung kebutuhan panel yang diperlukan dapat digunakan rumus dibawah ini:

$$\begin{aligned}
 \text{Modul surya}(Wp) &= \frac{\text{Total kebutuhan energi (Wh)}}{\text{Minimum rata - rata irradiansi matahari (jam)}} \\
 &= \frac{324 \text{ Wh}}{6 \text{ h}} \\
 &= 54 \text{ Watt - Peak} \approx 60 \text{ Wp}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas, solar panel yang digunakan membutuhkan 54 Wp. Oleh karena itu, solar panel yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 buah modul surya 60 Wp.

Spesifikasi yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Spesifikasi panel surya *monocrystalline*

MAYSUN SOLAR	
Model	MS60M-36
Rated Maximun Power (Pm)	60W
Voltage at Pmax (Vm)	18.2V
Current at Pmax (Im)	3.34A
Open-Circuit Voltage (Voc)	21.51V
Short-Circuit Current (Isc)	3.59A
Weight	3.89kg
Dimension (mm)	540*680*30mm

### 3.2 Data Hasil Pengujian

Pengujian yang dilakukan adalah *mode charging* panel surya jenis *monocrystalline* dengan kapasitas 60 Wp dengan keadaan panel surya tersambung ke baterai (Load). Data yang diambil adalah tegangan, arus pengisian, dan intensitas cahaya seperti pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Data Pengujian Panel Surya Pada Kondisi Load

No	Waktu	Tegangan	Arus	Irradiasi Matahari	Keterangan
		[Volt]	[Ampere]	[Watt/m <sup>2</sup> ]	
1	09:00	18.2	1.7	657.936	Cerah
2	09:30	18.7	1.9	694.829	Cerah
3	10:00	17.8	2.5	722.613	Cerah
4	10:30	18.2	2	724.588	Cerah
5	11:00	17.3	2.3	726.958	Cerah
6	11:30	17.6	2.6	884.8	Cerah
7	12:00	17.4	2.8	966.344	Terik
8	12:30	17.7	2.9	1039.42	Terik
9	13:00	17.4	2.7	797.205	Cerah
10	13:30	17.6	2.8	964.653	Terik
11	14:00	18.3	2.5	750.405	Cerah
12	14:30	18.7	1.9	495.67	Redup
13	15:00	17.9	1.5	344.092	Redup

Pada tabel 3.3 adalah hasil pengujian Fadhillah Inaswara, dkk pada tahun 2016 yang menggunakan SCC PWM dengan 2 buah solar panel berkapasitas 20Wp.

Tabel 3. 3 Data Pengujian Panel Surya pada Kondisi Load hari ke-1 (Tanggal 23 Juli 2016)

No	Waktu	Tegangan	Arus	Intensitas Cahaya	Daya output
		[V]	[A]	[Watt/m <sup>2</sup> ]	[W]
1	09:00 – 10:00	27.1	0.89	330.62	24.119
2	10:00 – 11:00	27.2	0.9	513.90	24.48
3	11:00 – 12:00	26.9	0.91	592.50	24.479
4	12:00 – 13:00	26.8	0.95	651.75	25.46

Sumber: [2]

### 3.3 Data Hasil Perhitungan

Pengujian yang dilakukan adalah panel surya metode charging dengan keadaan panel surya *monocrystalline* 60 Wp tersambung ke baterai (Load). Setelah data dihitung menggunakan rumus persamaan (1) untuk menghitung daya input ( $P_{in}$ ), (2) menghitung daya listrik ( $P_{out}$ ), dan (3) menghitung efisiensi didapat data hasil perhitungan pada tabel 3.4

- Menghitung daya input akibat irradianse matahari [Luas panel surya:  $0.3672m^2$ ]  
[1 lux =  $0.0079 W/m^2$ ]

$$P_{in} = Ir \times A$$

$$P_{in} = 657.94 \frac{Watt}{m^2} \times 0.3672m^2 = 241.59 Watt$$

- Menghitung daya keluaran yang dibangkitkan solar panel

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out}$$

$$P_{out} = 18.2 V \times 1.7 A = 30.94 Watt$$

- Menghitung efisiensi solar panel

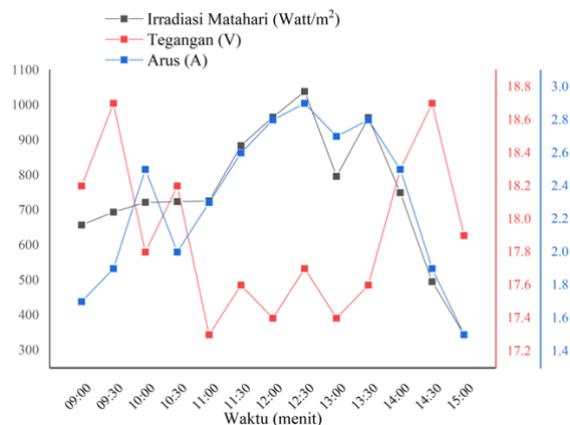
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{30.94 Watt}{241.59 Watt} \times 100\% = 12.81\%$$

Tabel 3. 4 Data Perhitungan Panel Surya pada Kondisi Load

No	Waktu	Daya Listrik ( $P_{out}$ )	Daya Masuk ( $P_{in}$ )	Efisiensi
		[Watt]	[Watt]	[%]
1	09:00	30.94	241.59	12.8
2	09:30	35.53	255.14	13.9
3	10:00	44.5	265.34	16.8
4	10:30	36.4	266.07	13.7
5	11:00	39.79	266.94	14.9
6	11:30	45.76	324.90	14.1
7	12:00	48.72	354.84	13.7
8	12:30	51.33	381.68	13.4
9	13:00	46.98	292.73	16
10	13:30	49.28	354.22	13.9
11	14:00	45.75	275.55	16.6
12	14:30	35.53	182.01	19.5
13	15:00	26.85	126.35	21.3

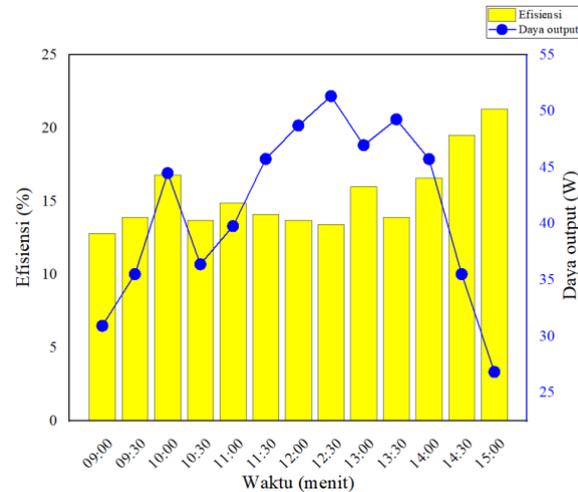
### Waktu terhadap Irradiansi matahari, tegangan dan arus



Gambar 3. 1 Grafik hubungan waktu terhadap irradiansi matahari, tegangan dan arus

Berdasarkan gambar 3.1, terjadi peningkatan arus dan irradiasi matahari. Pada pukul 12:30 WIB irradiasi matahari sampai di titik tertinggi dengan nilai 1039.42 Watt/m<sup>2</sup> dan arus maksimum yang didapatkan sebesar 2.9A serta tegangan maksimum sebesar 17.7V. Pada pukul 13:00 WIB irradiasi matahari menurun diikuti dengan arus yang menurun juga. Saat irradiasi matahari meningkat, arus juga akan meningkat namun tegangan yang dihasilkan akan menurun. Efisiensi tertinggi di dapat pada pukul 15:00 WIB sebesar 21.3%.

**Grafik Hubungan Waktu terhadap Daya Output dan Efisiensi**



Gambar 3. 2 Grafik Hubungan Waktu terhadap Daya Output dan Efisiensi

Berdasarkan gambar 3.2, pada pukul 09:00 WIB daya output mengalami kenaikan sehingga efisiensi pun naik. Pukul 12:00 sampai pukul 12:30 daya output yang dihasilkan meningkat namun efisiensi yang dihasilkan menurun walaupun tidak drastis. Hal ini dikarenakan pada pukul 11:30 WIB sampai pukul 13:00 WIB cuaca sangat panas sehingga suhu panel surya pada saat itu meningkat dan membuat hambatan semakin besar membuat panel surya bekerja tidak efisien. Pada pukul 14:00 WIB sampai pukul 15:00 WIB daya output menurun namun efisiensi semakin meningkat.

#### 4. KESIMPULAN

- 1) Penulis memilih solar panel jenis *monocrystalline* dengan kapasitas 60 Wp dikarenakan konstruksi panel surya sesuai dengan desain sepeda listrik. Panel surya juga tidak terlalu berat dikarenakan banyak komponen yang diletakkan di bagian belakang. Sehingga jika berat solar panel melebihi 5 kg ditakutkan tidak seimbang.
- 2) Berdasarkan data penelitian sebelumnya (Fadhilla Inaswara, dkk tahun 2016) menggunakan 2 solar panel 20Wp jenis *polycrystalline* dengan SCC PWM menghasilkan daya output rata-rata yang dihasilkan sebesar 18.15W. Pada penelitian menggunakan SCC MPPT dan 1 buah panel surya 60Wp jenis *monocrystalline* didapatkan rata-rata daya output sebesar 41.34W.
- 3) Faktor-faktor yang menyebabkan daya output dan efisiensi menurun dikarenakan perubahan intensitas cahaya matahari setiap waktunya, kondisi kapasitas aki yang hampir penuh dan naiknya temperature suhu solar panel membuat solar panel tidak bekerja secara efisien.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada dosen pembimbing P. Jannus, M.T. dan Ir., Benhur Nainggolan, M.T. yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan paper ini. Terimakasih kepada Panitia Seminar Nasional Teknik Mesin yang membantu proses penerbitan hasil penelitian.

**REFERENSI**

- [1] I. Kholiq, “PEMANFAATAN ENERGI ALTERNATIF SEBAGAI ENERGI TERBARUKAN UNTUK MENDUKUNG SUBSTITUSI BBM,” *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, vol. 4, no. 1, p. i, 2012, doi: 10.1016/s1877-3435(12)00021-8.
- [2] B. Nainggolan, F. Inaswara, G. Pratiwi, and H. Ramadhan, “Rancang Bangun Sepeda Listrik Menggunakan Panel Surya Sebagai Pengisi Baterai,” *Politeknologi*, vol. 15, no. 3, pp. 263–272, 2016.
- [3] A. E. Syahbani and P. Jannus, “Modifikasi Filter Gas Coalescer di PT XYZ,” pp. 73–81, 2020.
- [4] T. H. Nufus, *Energi Terbarukan (Edisi Revisi)*. Depok: PNJ Press, 2014.
- [5] R. Hidayat and J. Fadil, “MODUL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA UNTUK APLIKASI BEBAN RENDAH ( 600 W ),” vol. 17, no. 1, pp. 29–36, 2017.
- [6] N. Safitri, P. N. Lhokseumawe, T. Rihayat, and P. N. Lhokseumawe, *TEKNOLOGI PHOTOVOLTAIC*, no. July. Aceh: YayasanPuga Aceh Riset, 2019.
- [7] Y. K. Tiun, I. Yusuf, and A. Hiendro, “Perbandingan Kinerja Sel Surya Jenis Thin-Film dan Polycrystalline (Studi kasus:Pontianak),” *Angew. Chemie Int. Ed. 6(11)*, 951–952., vol. 1, 1967.
- [8] T. Majaw, R. Deka, S. Roy, and B. Goswami, “Solar Charge Controllers using MPPT and PWM: A Review,” *ADBU J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–4, 2018, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/287658-solar-charge-controllers-using-mppt-and-66d6c4aa.pdf>.